

## ГОРИЗОНТАЛЬНАЯ МНЛЗ В СОСТАВЕ ЛИТЕЙНО-ДЕФОРМАЦИОННОГО КОМПЛЕКСА

### HORIZONTAL CCM PART OF CASTING A DEFORMATION COMPLEX

Буркин С.П., Волков С.М.

Уральский федеральный университет, г.Екатеринбург, spb@mtf.ustu.ru

Shows the real possibility of a direct alignment process of horizontal continuous casting and extrusion. The technology of horizontal casting of metals with a big step drawing. Described compositional structure of the unit for the production of profiles unlimited lengths. The design of the hydraulic press is suitable for extrusion of long ingot. The choice of the temperature and velocity matching casting and extrusion. Structural problems are solved split container press and found a way to secure a long-axis pinch ingot.

Keywords: horizontal casting billets, step drawing, extrusion, compression casting with a combination, split container.

Горизонтальные машины непрерывного литья заготовок являются одним из самых противоречивых объектов техники непрерывной разливки металлов и сплавов. Вся история возникновения и развития этой техники начиналась именно с горизонтальных установок. В итоге на сегодняшний день этот способ производства металлургических и машиностроительных заготовок оказался наименее развитым, а большинство на первый взгляд перспективных конструкций машин доведено лишь до опытного и, в лучшем случае, опытно-промышленного уровня. Промышленное изготовление достаточно надежных и технологически совершенных горизонтальных МНЛЗ для черной металлургии оказалось посильным только трем объединениям: Concast AG (Швейцария), Mannesmann-Demag (Германия) и Voest-Alpine (Австрия).

Медленное, но не прекращающееся развитие технологии и машин непрерывной горизонтальной разливки металлов определяется многочисленными техническими проблемами, постепенно решаемыми специалистами ведущих фирм мира в надежде реализации некоторых несомненных достоинств этого вида литья. К последним следует отнести малые габариты и металлоемкость [1]. В отливаемом на МНЛЗ слитке поддерживается небольшое постоянное ферростатическое давление, благодаря чему отпадает необходимость создания громоздкого поддерживающего роликового аппарата зоны вторичного охлаждения. Слиток вводится горизонтально без изгибов, что обеспечивает возможность соосного размещения агрегатов дальнейшей обработки металла в непрерывных линиях совмещения разливки и деформационной обработки. В сравнении с другими МНЛЗ (вертикальными, вертикальными с изгибом, радиальными, криволинейными) эти машины характеризуются низким коэффициентом металлоемкости от 3 до 4 (отношение массы оборудования в килограммах к годовой производительности в тоннах). Этот коэффициент у радиальных МНЛЗ равен 5-6, у вертикальных 7-12.

Технологические и конструктивные проблемы, не нашедшие до настоящего времени удовлетворительного разрешения, могут быть сведены к следующему перечню:

- затруднено извлечение слитка из кристаллизатора из-за возможной приварки корки слитка и трудности применения качания кристаллизатора, широко используемого на всех других машинах непрерывного литья;
- создание специальных огнеупорных материалов, которые способны выдерживать высокие термические и механические нагрузки; отсутствие открытого мениска жидкого металла в кристаллизаторе, являясь достоинством горизонтальной разливки, вынуждает применять огнеупорные изделия, которые могут служить конструктивными элементами кристаллизатора;
- затруднена смазка кристаллизатора, в качестве которой на вертикальных машинах используется стекающий по стенкам шлак; особые трудности возникают при горизонтальном литье коррозионно-стойких сталей, при котором наблюдается повышенное трение между слитком и стенками кристаллизатора;
- выбор материалов для изготовления огнеупорного кольца на стыке металлопровода и кристаллизатора;
- оптимизация режима вытягивания заготовки для стабилизации процесса литья и получения поверхности заготовки удовлетворительного качества;
- выбор термостойких материалов кристаллизаторов, которые обеспечивают сохранение формы и размеров канала кристаллизатора;
- асимметрия кристаллизации крупного слитка, приводящая к смещению теплового центра с его зоной химической и физической неоднородности, к искажению геометрической формы и возникновению продольных трещин.

Вся история развития горизонтальных машин – это история поиска решения перечисленных проблем и преодоления технологических затруднений в получении качественной металлопродукции.

Первые патенты и работы по способам и устройствам горизонтального непрерывного литья заготовок появились еще в позапрошлом веке. Во многих из них заложены ценные мысли и решения, которые могут быть использованы в современных установках и технологических процессах.

Первые кристаллизаторы, предложенные для практического применения, выполнялись заодно с печью [2], что оказывало влияние на устойчивость и расположение фронта кристаллизации, смещавшегося к выходу из кристаллизатора на величину, во многом зависящую от изменения температуры жидкого металла. В последующем отказались от печей в пользу металлоприемников-миксеров, называемых в современной литературе промежуточными ковшами.

Важным этапом в развитии горизонтального литья была работа Персона А.Г., который предложил во время литья слитка придавать кристаллизатору возвратно-поступательное движение, что решило проблему приварки корки слитка и смазки кристаллизатора. Однако, при этом требуются относительно сложные системы герметизации узла металлоприемник-кристаллизатор. Поэтому большее распространение все же нашли конструкции с неподвижным по отношению к промковшу кристаллизатором, не смотря на сложность конструктивного исполнения узла стыковки. Переход от огнеупорного стакана-питателя к водоохлаждаемому кристаллизатору является критическим местом горизонтальных машин непрерывного литья. Различные варианты стыков металлоприемника и кристаллизатора показаны на рис.1 [1].

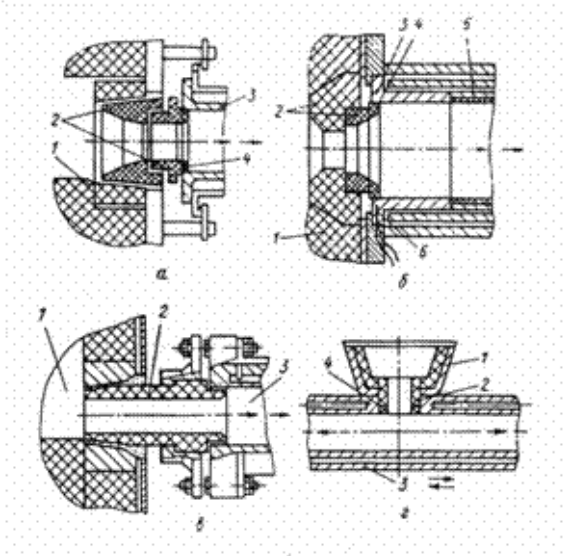


Рис. 1. Конструкции стыковочных узлов металлоприемника и кристаллизатора горизонтальных МНЛЗ: а – фирмы Horicast; б – фирмы General motors; в – УкрНИИМета; г – ВНИИМетмаша; 1 – металлоприемник; 2 – огнеупорный стакан; 3 – кристаллизатор; 4 – разделительное кольцо; 5 – графитовое покрытие; б – термопара

Большое значение имеет выбор материала огнеупорного кольца. Испытывались разделительные кольца из нитрида бора (BN), глинозема ( $Al_2O_3$ ), окиси циркония ( $ZrO_2$ ), окиси кремния ( $SiO_2$ ) и смеси глинозема с шамотом. В

машинах конструкции УкрНИИМета НПО «Тулачермет» кристаллизатор выполнен с небольшим буртом, что позволило улучшить условия работы огнеупора и не применять разделительное кольцо, выполнив металлопровод целиком из графитошамота [1].

Рациональный выбор режима вытягивания слитка из кристаллизатора во многом определяется назначением отливаемых заготовок. Используются варианты:

- периодическое вытягивание заготовки из неподвижного кристаллизатора;
- периодическое вытягивание из кристаллизатора, совершающего возвратно-поступательное движение вместе с металлоприемником и металлопроводом;
- вытягивание круглой заготовки с вращением из неподвижного кристаллизатора [3].

При периодическом вытягивании возникают два вида поверхностных дефектов: спаи шагов и спаи фронтов кристаллизации. Спаи шагов – неполная сварка вновь поступившего жидкого металла с корочкой от предыдущего шага вытягивания. Спаи фронтов кристаллизации – надрыв корочки в наиболее тонком месте. Последний дефект устраняется при использовании обратной отдачи слитка после каждого шага вытягивания. Это достигается управлением привода вытяжного устройства и значительно усложняет и удорожает всю конструкцию машины. Обратная отдача должна быть строго регламентирована по длине хода. Малая отдача не восстанавливает сплошность корочки слитка, а большая – разрушает стыковочное кольцо. В этом плане использование кристаллизаторов с входным буртом перспективно, несмотря на некоторое ухудшение качества поверхности слитка.

Спаи шагов не устраняются обратной отдачей и трудность выбора режима вытягивания состоит в том, что для получения качественного спая шагов пауза должна быть минимальной, а для усиления слабого места корки (спая фронтов) время паузы необходимо увеличить. Поэтому существует понятие оптимального числа циклов в единицу времени. Если на каждом шаге осуществлять точную отдачу и выбрать достаточно малый шаг (15...20 мм), то можно существенно снизить количество поверхностных дефектов.

Спаи шагов опасны тем, что при последующем охлаждении слитка и появлении растягивающих термических напряжений в поверхностных слоях заготовки спаи легко превращаются в трещины, которые, окислившись, формируют плены при последующей пластической деформации ковкой или прокаткой. Следовательно, отлитые на горизонтальной МНЛЗ слитки целесообразно без охлаждения передавать на обработку давлением, используя при этом схемы напряженного состояния, близкие к всестороннему сжатию.

Если отливать заготовки с малым шагом вытягивания на горизонтальной МНЛЗ, напрямую совмещенной с деформирующим агрегатом, то в

качестве последнего лучше всего использовать радиальное обжатие. При этом способе обжатия легко приравнять величину подачи заготовки шагу вытягивания, а естественное при обжатии отеснение металла из бойков использовать для устранения спаев фронтов кристаллизации.

Применение прокатки после горизонтального литья обязательно разрывает непрерывность процесса, требует разрезки литых заготовок, накопления прокатных заготовок в печи подогрева и подачи их к прокатному стану со скоростью, приемлемой для прокатки и значительно превосходящей скорость непрерывной разливки. Разрыв непрерывности процесса литья-деформации возлагает на вытяжное устройство МНЛЗ дополнительную функцию отдачи литой заготовки. Валковые вытяжные устройства не в состоянии обеспечивать строго регламентированную величину отдачи слитка из-за неизбежных люфтов в элементах трансмиссии привода валков. Проблема вытягивания с отдачей пожалуй успешно сейчас решена фирмой Mannesmann-Demag. Гидравлическое устройство вытягивания, показанное на рис.2, работает по циклу: движение вперед – обратный ход – период остановки. Гидроцилиндры 1 и 2 обеспечивают движение вперед и назад кареток 5 с зажатой плоскими зажимами 3 и 4 заготовкой 8 (9). Зажимы приводятся от гидроцилиндров 6 и 7. Точность прямого и обратного ходов кареток и цикл срабатывания элементов гидроприводов обеспечивается совершенной системой автоматического управления. Тем не менее, качество поверхности литой заготовки, производимой на машинах фирмы, традиционно и характеризуется наличием поверхностных дефектов – кольцевых спаев шагов.

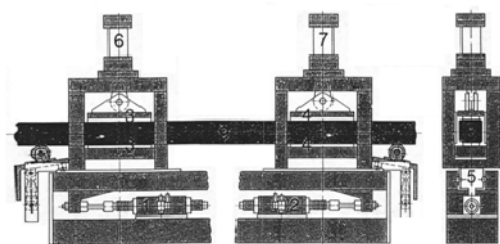


Рис. 2. Схема устройства балочного типа для вытягивания заготовки конструкции фирмы Mannesmann-Demag

Для разработки конструкций литейно-деформационных агрегатов на базе горизонтальных МНЛЗ представляет интерес опыт ВНИИметмаша и Уральского института металлов по исследованию технологии разливки заготовок с большим шагом вытягивания, при которой за счет увеличенной паузы спаи фронтов кристаллизации устраняются полностью. Разливались стальные заготовки с шагом до 700 мм в пределах длины кристаллизатора [1]. В период движения скорость вытягивания может быть достаточно большой, зато

время паузы обуславливается созданием прочной корочки слитка. В этом случае разрезка слитка на мерные заготовки производится по спаям шагов и, следовательно, обеспечивается получение коротких заготовок высокого качества, пригодных дляковки, штамповки и прессования. Способ разливки на горизонтальных МНЛЗ эффективен особенно для металлов с высокой теплопроводностью, когда протяженность лунки с жидкой фазой металла сравнительно не велика и нет опасности перемораживания сечения слитка на входе в кристаллизатор во время длительной паузы, приводящего к формированию смещенной от центра усадочной полости. Последняя при ковке и штамповке провоцирует потерю устойчивости заготовки, несимметричное течение металла в штампе и появление боковых прессутяжин при всех видах прессования. За счет рационально организованного теплового режима кристаллизатора и зоны вторичного охлаждения удается избежать описанного дефекта непрерывнолитых горизонтальным способом заготовок даже из низкотеплопроводных сталей и сплавов цветных металлов.

Совмещение процессов горизонтального литья с деформационной обработкой вполне можно считать перспективным направлением развития техники и технологии самой горизонтальной непрерывной разливки металлургических и машиностроительных заготовок, поскольку пластическая обработка, выполняемая без промежуточной разрезки слитков и с максимально возможным использованием тепла плавления-литейного передела, позволяет решить некоторые из перечисленных здесь проблем горизонтального литья.

В сравнении с вертикальными, радиальными и криволинейными многоручьевыми МНЛЗ горизонтальные машины низкопроизводительны и поэтому нерентабельно их применение в малотоннажном производстве. Они могут стать экономичнее, если деформационную обработку осуществлять без дополнительного подогрева слитка перед подачей в деформационный агрегат. Таким образом, если устранить промежуточную разрезку, то совмещение непрерывного литья заготовок с деформационной обработкой требует не только скоростного согласования работы агрегатов, но и эффективной стабилизации температурного режима. Из кристаллизатора МНЛЗ заготовка выходит со значительным градиентом температуры по сечению и высоким уровнем запасенной при плавке энергии. При оперативном контроле и управлении зоной вторичного охлаждения достигается требуемая температура поверхности слитка  $t_{\Pi}$ . В момент завершения кристаллизации металла в осевой зоне слитка фиксируется начальное тепловое состояние заготовки. При этом температура в центре сечения  $t_C$  постоянна и равна температуре солидуса; на поверхности температура устанавливается на предписанном

уровне регулированием интенсивности охлаждения. Если известна оптимальная температура деформационной обработки и допустимый градиент температуры по сечению  $t_C - t_{II}$ , то можно установить значение температуры  $t_{II}$ , при которой к моменту входа рассматриваемого сечения в зону обжата заготовка окажется равномерно нагрета до температуры горячей пластической обработки.

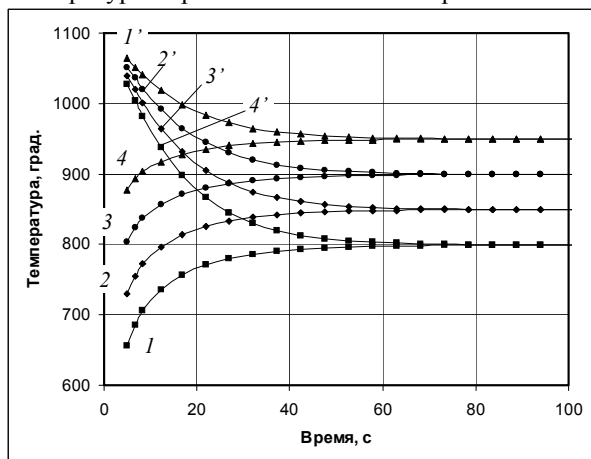


Рис. 3. Выравнивание температуры по сечению заготовки: 1, 2, 3, 4 – изменение  $t_{II}$ ;

1', 2', 3', 4' – изменение  $t_C$  (1 и 1' для  $t_{II}=500^{\circ}\text{C}$ ; 2 и 2' для  $t_{II}=600^{\circ}\text{C}$ ;

3 и 3' для  $t_{II}=700^{\circ}\text{C}$ ; 4 и 4' для  $t_{II}=800^{\circ}\text{C}$ )

В работе в конечно-элементной постановке решена краевая задача теплопроводности для ферроалюминиевой (до 17% Fe) литой заготовки, обрабатываемой прессованием на непрерывном литейно-прессовом агрегате. На рис.3 показано изменение температур  $t_C$  и  $t_{II}$  литой заготовки при варьировании начальной температуры наружных слоев слитка. Принята условно идеальная теплоизоляция поверхности слитка. При любой практически достижимой температуре поверхности приблизительно через 60 с наступает выравнивание температуры по сечению. В случае потерь тепла с поверхности (рис.4) полное выравнивание температур не достигается, но через 60...80 с градиент температуры по сечению становится технологически допустимым. Поставленная краевая задача позволяет найти вариант совмещения литья с прессованием без промежуточного подогрева и определить расстояние между выходом кристаллизатора и входом контейнера прессы. Без этой информации проектирование литейно-прессовых агрегатов невозможно.

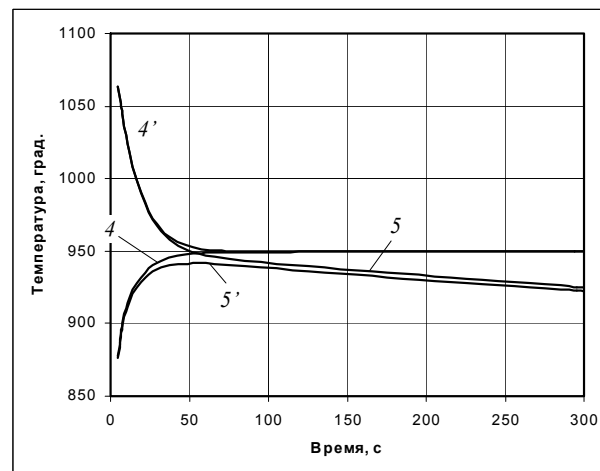


Рис. 4. Выравнивание температуры: 4 и 4' – обозначения аналогично рис. 3,

изменение  $t_{II}$ ; 5 и 5' – изменение  $t_{II}$  и  $t_C$  для

$t_{II}=800^{\circ}\text{C}$  и

ГУ III рода:  $\alpha_K=10 \text{ Вт/м К}$  и  $t^*=200^{\circ}\text{C}$ .

В тоже время, расчет температурных полей в реальном слитке и построение алгоритма управления зоной вторичного охлаждения возможны лишь при правильном определении сечения, в котором завершается кристаллизация. Применение правила квадратного корня не дает удовлетворительного результата, поскольку нельзя считать постоянным коэффициент затвердевания. Практическое же его определение затруднительно. Поэтому система автоматического управления литейно-деформационным агрегатом должна включать ультразвуковой или радиоизотопный датчики, устанавливаемые перед зоной вторичного охлаждения.

Графики выравнивания температуры по сечению литой заготовки позволяют определить расстояние от выхода кристаллизатора горизонтальной МНЛЗ до входа в деформирующую зону агрегата пластической обработки, или устанавливать необходимость применения проходного индуктора подогрева поверхности слитка.

Передача литой заготовки на деформационную обработку, кроме экономии энергоресурсов, дает возможность избавиться от значительной части поверхностных дефектов слитка. Опытные разливы сталей и сплавов с большим шагом вытягивания на горизонтальной машине опытного завода Уральского института металлов показали, что спаи шагов вытягивания, неизбежные при горизонтальном литье, превращаются в окисленные трещины при охлаждении литых заготовок на воздухе. Нераскрытые и, следовательно, не окисленные спаи не порождают дополнительных дефектов при последующей пластической деформации практически любым способом. Можно также иметь в виду, что при конструировании литейно-деформационного агрегата вполне возможно

решение проблемы герметизации трассы передачи слитка от МНЛЗ к зоне пластической обработки. Если герметизация возможна, то и решается задача применения защитных атмосфер, снижающих или предотвращающих окисление литой заготовки.

Анализ всех допустимых по условиям неразрушающего деформирования литого металла, принимаемого с горизонтальных МНЛЗ и, следовательно, пораженного поверхностными дефектами типа спаев шагов, способов обработки давлением показал, что наиболее пригодным для прямого совмещения является полунепрерывное прессование, желательно с обратным истечением металла.

Полунепрерывное прессование [4-7] предполагает подачу в разъемный контейнер части длинномерной заготовки, ее радиальную деформацию при смыкании контейнера и обратное прессование движущимся с зажатой заготовкой контейнером навстречу прессштемپеля с матрицей. При каждом цикле такого прессования заготовка удерживается от осевого смещения либо силами трения, либо специально спрофилированной рабочей поверхностью контейнера.

Один их технически возможных конструктивных вариантов литейно-прессового агрегата показан на рис.5.

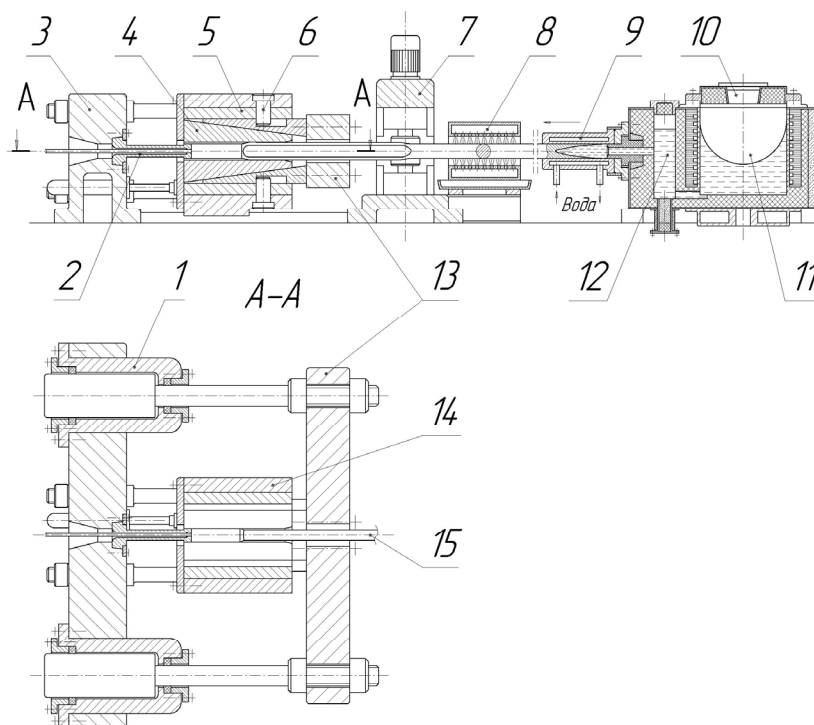


Рис. 5. Композиционная структура литейно-прессового агрегата на базе горизонтальной литейной машины, совмещенной с прессом непрерывного обратного прессования

Прессовая установка, включенная в состав агрегата, существенно отличается от горизонтальных гидравлических прессов традиционной конструкции в первую очередь тем, что главные цилиндры 1, расположенные в плоскости прессования, смонтированы в передней неподвижной поперечине 3, где устанавливается прессштемпель с матрицей. Контейнер 4 выполнен разъемным двух- или четырехсегментным (на схеме показан двухсегментный вариант) с силовым замыканием распорного усилия втулкой 5. Для смыкания сегментов контейнера используются клинья, закрепленные на подвижной поперечине 13 и снабженные ограничителями хода 6. На схеме не показаны ретурные цилиндры главного привода, также установленные в передней траверсе пресса. Корпус контейнера 14 с осевой подвижностью установлен на направляющие станины пресса и снабжен гидросистемой фиксации положений ввода и извлечения клиньев подвижной поперечины 13.

В качестве металлоприемника в агрегате используется индукционная печь 11, подробно описанная в работе [8] и снабженная дополнительной емкостью 12, выполняющей роль промежуточного ковша МНЛЗ, к стенке которого неподвижно крепится водоохлаждаемый кристаллизатор. Металлоприемник снабжен индуктором, придонным электрогидродинамическим устройством вращения расплава и крышкой с отверстием для подачи расплава или загрузки твердой шихты. На трассе движения литой заготовки от кристаллизатора к контейнеру пресса устанавливаются: душирующее устройство зоны вторичного охлаждения 8, прокатная клеть 7 для придания литой заготовке плоско-овальной формы поперечного сечения, газовый резак, механизм ввода и удаления затравки и направляющие ролики прессовой установки (последние устройства на схеме не показаны). Прокатная клеть в начале периода разливки выполняет функцию вытяжного устройства МНЛЗ.

При необходимости проходной индуктор подогрева заготовки 15 устанавливается соосно на подвижной поперечине 13 между клетью 7 и прессом, где также монтируется рольганг установки и удаления затравки.

Вращатель металлоприемника обеспечивает активное перемешивание расплава, выравнивание температуры по объему и подъем жидкого металла в дополнительной емкости при осуществлении разлива. Затравка вводится валками клетки 7 с рольганга в кристаллизатор, и начальная стадия горизонтальной разлива осуществляется традиционным образом до выхода захоложенной затравкой части слитка из валков клетки 7. Передняя часть литой заготовки отрезается газовым резаком и вместе с затравкой сбрасывается с рольганга. Далее процесс разлива выполняется с обжатием литой заготовки клетью 7 на каждом шаге вытягивания. При этом вытягивание и отдача слитка в кристаллизатор осуществляется за счет автоматизированного привода клетки. При обжатии в клетю круглой литой заготовки формируется плоско-овальное сечение и заготовка подвергается вытяжке, определяемой как при горячей прокатке по схеме «круг-гладкая бочка» по формуле [9]:

$$\lambda = 1 + \left( \frac{1}{\eta} - 1 \right) \cdot (0,413 - 0,145 \lg A) \cdot \left( 0,75 + \frac{0,3}{\varphi + 0,2} \right),$$

где  $\frac{1}{\eta} = \frac{D}{H}$  - относительная высотная

деформация заготовки;

$D$  - диаметр литой заготовки;

$H$  - толщина плоско-овальной обжатой прессовой заготовки;

$$A = \frac{d}{H} - \text{относительный диаметр валков}$$

клетей;

$d$  - диаметр бочек валков клетки;

$\varphi$  - коэффициент трения (по Зибелю), принимаемый при горячей прокатке равным 0,8.

Плоско-овальная форма сечения заготовки гарантирует отсутствие затекания металла в зазор между смыкающимися сегментами разъемного контейнера при радиальном обжатии подаваемой части заготовки. В случае четырехсегментного исполнения контейнера пресса либо отливаются квадратная заготовка, либо используется четырехвалковая клеть с квадратным калибром.

На определенном шаге разлива передний конец слитка вводится в раскрытый контейнер и раздавливается до сечения близкого к круглому сегментами контейнера. Подвижная поперечина 13 цилиндрами 1 двигается вперед и вводит клинья между сегментами 4 и втулкой 5. В это время корпус контейнера удерживается гидросистемой фиксации положения. После смыкания контейнера его корпус поперечиной 13 перемещается вперед на длину запроектированного шага вытягивания заготовки из кристаллизатора. Для заполнения сечения контейнера металлом при радиальной

осадке плоско-овального или квадратного сечений необходимо выполнение соотношения

$$D = D_k \cdot \sqrt{\lambda}, \text{ где } D_k - \text{ диаметр контейнера}$$

пресса. Когда контейнер на очередном шаге подачи (шаге вытягивания) оказывается заполненным металлом, при рабочем ходе главных цилиндров осуществляется прессование части заготовки. Длина хода контейнера  $l_k = l \cdot \lambda$ , где  $l$  - шаг вытягивания. Прокатная клеть в этом случае используется только для формоизменения сечения заготовки. Проблема отдачи заготовки в кристаллизатор после каждого шага вытягивания решена за счет осевого оттеснения части металла при радиальной осадке заготовки сегментами контейнера. Величина отдачи определяется длиной подачи части слитка в разомкнутый контейнер, а также соотношением осей плоско-овального сечения, и рационально подбирается при проектировании и отладке техпроцесса с учетом величины усадки разливаемого металла.

Во время паузы на кристаллизацию очередной части слитка подвижная поперечина 13 (см. рис.5) сначала извлекает клинья до упоров 6, а затем смещает назад разомкнутый контейнер на величину хода прессования. Распрессованная часть слитка в это время не касается стенок контейнера, что предотвращает ее захлаживание.

Поскольку скорость вытягивания слитка из кристаллизатора строго не лимитирована, то она устанавливается по условиям рационального выбора скорости прессования  $V_{np}$  для каждого конкретного сплава и равна  $V_s = V_{np} / \lambda$ .

Длина рабочей части контейнера  $L = l_{no} + l_k = l_{no} + l \cdot \lambda$ , где  $l_{no}$  - минимально допустимая длина распрессованной части слитка, оставляемая в контейнере по завершению очередного цикла прессования;  $l_{no}$  определяется из неравенства

$$l_{no} \cdot \pi \cdot D_k \cdot \kappa_{\delta} \cdot p_{np} \cdot f \geq p_{np} \cdot \frac{\pi \cdot D_k^2}{4},$$

где  $p_{np}$  - напряжение прессования;  $f$  - коэффициент трения (по Кулону) на рабочей поверхности контейнера;  $\kappa_{\delta}$  - коэффициент бокового давления металла на стенки контейнера.

Отсюда 
$$l_{no} \geq \frac{D_k}{4 \cdot \kappa_{\delta} \cdot f}.$$

Определение относительного удлинения пережимаемой сегментами контейнера части заготовки на очередном шаге вытягивания в зависимости от относительной подачи и соотношения осей плоско-овального сечения выполнено экспериментально на свинцовых

образцах с использованием инструментальной оснастки, показанной на рис.6, имитирующей двухсегментный разъемный контейнер.

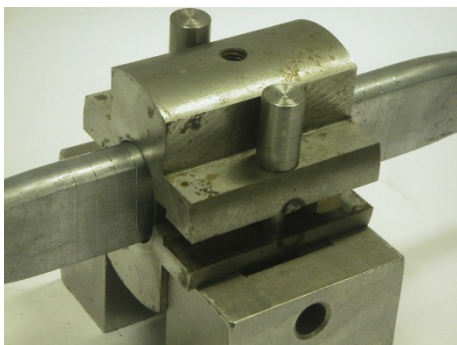


Рис. 6. Экспериментальная оснастка для определения относительного удлинения части заготовки при ее радиальной осадке сегментами разъемного контейнера

Образцы изготовлены из прессованного прутка диаметром, совпадающим с диаметром рабочей полости сомкнутого контейнера (27 мм), способом плоской осадки в диаметральной направлении (расплющиванием) на плоских плитах. Длина расплюснутых заготовок составляла 170 мм, что предотвращало осевое течение металла и позволяло сохранить площадь поперечного сечения при переходе от круга к плоскому овалу. Плоско-овальные в сечении образцы имели

различное соотношение осей (отношение ширины  $b$  к толщине  $h$ ): 3,12; 2,60; 1,80; 1,45. В качестве независимой переменной, кроме отношения  $b/h$  рассматривалась относительная подача заготовки в разведенные сегменты контейнера, представляемая отношением  $S = l_0/h$ , где  $l_0$  - абсолютная длина подачи. Для симметризации процесса нагружения в разнятый контейнер одновременно с двух сторон подавались на регламентированную длину два одинаковых образца, как это показано на рис. 6. Радиальное обжатие образцов осуществлялось на лабораторном гидравлическом прессе 0,5 МН до полного смыкания сегментов контейнера. С целью учета влияния на удлинение жесткой части заготовки, предварительному обжатию подвергались концевые части образцов. После повторного обжатия выполнялись замер длины обжатой части образцов  $l_1$  и определение абсолютного  $\Delta l = l_1 - l_0$  и относительного  $\Delta l/l_0$  удлинения. Контактные условия трения соответствовали горячей деформации стали, что подтверждено сопоставлением процессов горячей прокатки стальных и свинцовых полос.

Результаты экспериментов после стандартной статистической обработки представлены в графическом виде на рис. 7.

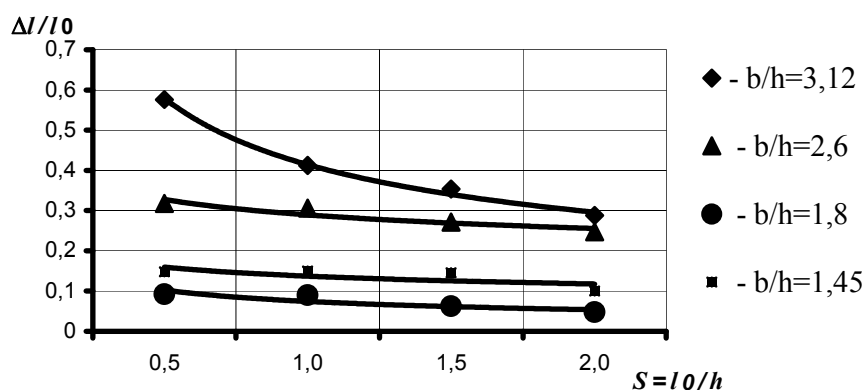


Рис. 7. Относительное удлинение заготовки плоско-овального сечения при ее радиальной осадке сегментами разъемного контейнера

Естественно было ожидать снижения относительного удлинения с ростом подачи в результате подпирания действия сил контактного трения. Но интенсивное снижение удлинения при уменьшении соотношения осей неравноосной плоско-овальной полосы можно считать новым экспериментальным результатом. Выявлено, что диапазон изменения величины  $\Delta l/l_0$  достаточно широк. Следовательно, управление двумя независимыми параметрами  $b/h$  и  $l_0/h$  дает возможность осуществить радиальное обжатие подаваемой на каждом шаге вытягивания заготовки с требуемой величиной

осевой отдачи слитка в сторону кристаллизатора МНЛЗ для устранения спаев фронтов кристаллизации. Величина  $b/h$  задается установкой нажимного устройства обжимной прокатной клетки, а  $l_0/h$  - рациональным выбором шага вытягивания и, следовательно, длины хода прессования. Наиболее значимым по влиянию на относительное удлинение является параметр  $b/h$ , а влияние  $S$  существенно сказывается на величине  $\Delta l/l_0$  при достаточно больших  $b/h$ . Поэтому целесообразно использовать плоско-овальную заготовку с большим соотношением осей, и при

настройке варьировать шаг вытягивания, что технически наиболее просто осуществимо.

При создании литейно-прессового агрегата может быть использован и трубо-профильный пресс традиционной конструкции, как это показано на рис.8.

У пресса демонтируется независимая прошивная система, освобождается при этом осевой канал главного плунжера, через который подается к разъемному контейнеру описанной конструкции непрерывная литая заготовка. В

передней неподвижной поперечине вместо матрицедержателя устанавливается прессштемпель с матрицей, что позволяет осуществлять обратное прессование. Технические трудности при реконструкции пресса связаны с сохранением тепла литой заготовки на достаточно длинной трассе. Необходимы надежная теплоизоляция внутренней поверхности главного плунжера и закрытый монтаж проходного индуктора перед входом в контейнер.

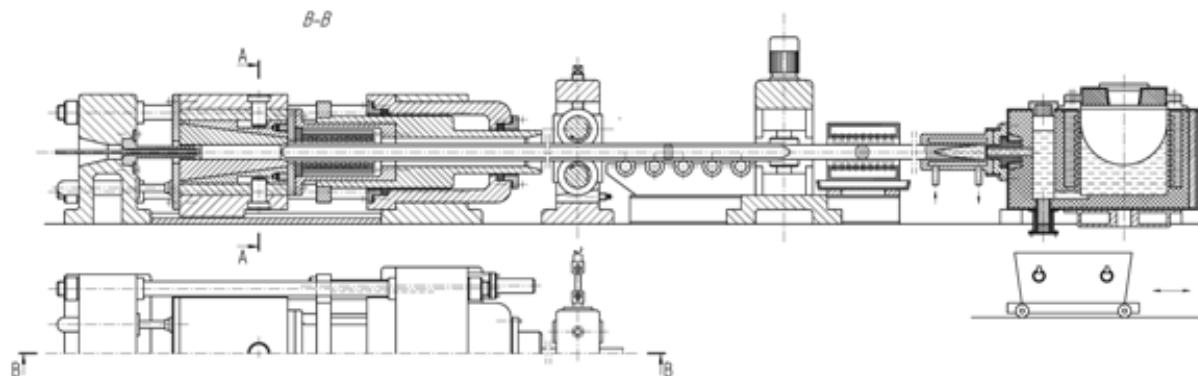


Рис. 8. Конструктивный вариант литейно-прессового агрегата на базе горизонтальной МНЛЗ и трубо-профильного пресса

Таким образом, в работе показана принципиальная возможность эффективного решения большинства проблем конструирования агрегата и разработки технологии прямого совмещения горизонтального непрерывного литья заготовок с полунепрерывным проходным прессованием профилей неограниченной длины. Разумеется, специальная конструкция прессовой установки устраняет многие технические трудности при создании агрегата литья-прессования. Если же на первых этапах реализации проекта строительство новой нетрадиционной прессовой установки признается нецелесообразным, то возможна достаточно простая адаптация существующего трубо-профильного горизонтального пресса. Пресс в линии горизонтальной МНЛЗ с большим шагом вытягивания устраняет многие до сего времени трудно решаемые проблемы. Эффективность прямого совмещения литья и прессования очевидна и сводится к следующему: достигается значительное энергосбережение за счет использования тепла плавильно-литейного передела; простым способом устраняются поверхностные дефекты слитка типа спаев фронтов кристаллизации; снижается опасное влияние на качество готовой металлопродукции дефектов типа спаев шагов, поскольку при передаче без охлаждения слитка на деформационную обработку предотвращается превращение спаев в окисленные глубокие трещины; возможность получения длинномерных профилей, для производства которых непригодны иные способы; металлосбережение благодаря отсутствию удаляемых при традиционном прессовании прессостатков; возможность герметизации и

защиты слитка от окисления на трассе передачи слитка от МНЛЗ к прессу; эффективное использование разъемного контейнера в качестве механизма вытягивания и обратной отдачи слитка при разливке со сравнительно большим шагом вытягивания; упрощение системы и алгоритма автоматического управления работой горизонтальной машины непрерывного литья заготовок. Можно предсказать начало нового этапа развития горизонтальных МНЛЗ в создании техники и технологии совмещения литья и прессования.

#### Библиографический список

1. Беренов А.Д. Горизонтальные машины непрерывного литья заготовок: Обзор. М.: ЦНИИТЭИтяжмаш, 1986. 36 с.
2. Герман Э. Непрерывное литье. М.: Металлургиздат, 1961. 814 с.
3. А.с. 1007275 (СССР). Способ непрерывного горизонтального литья круглых металлических заготовок и устройство для его осуществления// Нисковских В.М., Беренов А.Д., Крайнев В.П. и др. Оpubл. в БИ №11, 1988.
4. Патент РФ №2039812. Способ совмещенной непрерывной разливки и деформации металлов и устройство для его осуществления//С.П.Буркин, Е.А.Коршунов, Ю.Н.Логинов. Оpubл. в БИ №19, 1995.
5. Патент РФ №2100130. Способ непрерывной разливки и прессования металлов и сплавов. //С.П.Буркин,



- Е.А.Коршунов, Ю.Н.Логинов и др. Оpubл. в БИ №36, 1997.
6. Буркин С.П., Логинов Ю.Н. Непрерывное прессование заготовок через разъемный контейнер /Изв. вузов. Черная металлургия, 1998, №1. с.31-36.
  7. Буркин С.П., Логинов Ю.Н., Коршунов Е.А. Элементы технологии проходного прессования //В кн. Обработка легких и специальных сплавов. М.: ВИЛС, 1996. с.353-361.
  8. Коршунов Е.А., Гайнанов Д.Н., Бастриков В.Л., Фадеев В.В., Лузгин В.И., Петров А.О., Сарапулов Ф.Н., Лисиенко В.Г., Третьяков В.С. Многофункциональный плавильный агрегат для реализации новых технологий в условиях миниметаллургических предприятий и литейных цехов крупных машиностроительных заводов /Литейщик России, 2004, №10. с.21-25.
  9. Смирнов В.К., Шилов В.А., Литвинов К.И. Деформации и усилия в калибрах простой формы. М.: Металлургия, 1982. 144 с.